

標準コンデンサマイクロホンの精密校正法に関する研究

著者	三浦 甫
号	894
発行年	1986
URL	http://hdl.handle.net/10097/11843

氏 名 ^み三 ^{うら}浦 ^{はじめ}甫

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和 62 年 3 月 13 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭和 36 年 3 月

電気通信大学電気通信学部電波工学科卒業

学 位 論 文 題 目 標準コンデンサマイクロホンの精密校正法に関する
研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 城戸 健一 東北大学教授 清水 洋
東北大学教授 高木 相 東北大学教授 曾根 敏夫

論 文 内 容 要 旨

標準コンデンサマイクロホンのカプラ校正におけるカプラ内波動補正量およびマイクロホン膜インピーダンス補正量は、本研究の第 2 章に述べる手法「無限行列による波動方程式の解法」を用いることによって、厳密な理論計算が可能になった。数値計算結果は、実験値の測定精度以内の精度で十分一致することが確かめられた。さらに、第 3 章に示すように、近似計算や数値計算結果から、カプラ内波動の効果やマイクロホン膜インピーダンスの効果が定性的にも明らかになった。この結果、これまでに明らかになっている他の補正量とともに、標準コンデンサマイクロホンのカプラ校正における補正量が十分な精度で計算可能になり、さらにその適用方法が校正精度に対応して規定できることが明らかになった。これらの検討結果から、標準コンデンサマイクロホンのカプラ校正における補正量の求め方と適用方法について、最適な方法のあることが提案されている。

これらの成果は、本研究で対象としたⅠ型標準コンデンサマイクロホンのカプラ校正に適用できるだけでなく、多くの計測用コンデンサマイクロホンの音圧校正に応用できる。特に、「無限行列による波動方程式の解法」を用いて、これまで、標準校正法が確立されていない各種コンデンサマイクロホン、例えばⅡ型標準コンデンサマイクロホンの相互校正法による絶対校正法の確立が可能となった。すなわち、「無限行列による波動方程式の解法」を利用したシミュレーション・システムを構成すれば、コンデンサマイクロホンの音圧校正用カプラの CAD (コンピュータ利用設計) システムの構築となる。

一方、標準コンデンサマイクロホンは、汎用の高精度計測用マイクロホンとして利用されているが、これらのマイクロホンを自由音場、すなわち無響室での測定に利用するためには、その自由音場感度を知らなければならない。本研究では、そのための高精度自由音場校正法を開発した。この方法を用いると、コンピュータやデジタル信号処理技術を利用して、短時間に精度の高い測定値を大量に収集できる。

この方法を多数の標準コンデンサマイクロホンの自由音場での絶対校正に適用すると、個々のマイクロホンの自由音場感度が得られるだけでなく、自由音場における相互校正法の評価や音場のより精密な基準の設定、さらには標準コンデンサマイクロホンの自由音場感度を簡単に求める手段である、自由音場補正量の決定など、今後の音響計測技術の高精度化に寄与できるものと考えられる。

つぎに、各章の要旨をのべる。

第1章 序 論

本章では、研究の目的と方法について述べ、続いて標準コンデンサマイクロホンの相互校正法の概要とその校正精度の現状に触れる。現在実現されている校正精度は、I型標準コンデンサマイクロホンのカプラ校正の場合、0.05～0.2 dB、その自由音場校正の場合、0.1～0.5 dBといわれているが、厳密には、定量的な評価方法が確立されていない。また、現在利用されている校正方法について述べ、第2章以降の解析に必要な事項を記述している。さらに各章別の内容の説明をしている。

第2章 カプラ内波動補正量とマイクロホン膜インピーダンス補正量

本章では、カプラ内波動現象の解析方法として開発された「無限行列による波動方程式の解法」を用いて、カプラ校正法におけるカプラ内波動およびマイクロホン膜インピーダンスの効果の厳密な解析法を示し、これらの補正量および受音マイクロホン膜面上の音圧分布の表示を求めている。さらに、無限行列の四則演算で与えられる解析結果の数値計算方法として、Method of Reductionを採用し、その収束状況についても示している。すなわち、本手法は、標準コンデンサマイクロホンの音圧校正用標準カプラである20 ccカプラのように複雑な形状を持つ音響系の厳密な解析と数値計算方法であることを示す。

第3章 カプラ校正の補正量

本章では、第2章で求めた解析結果について数値計算を行った。第1に、I型標準コンデンサマイクロホンの相互校正法による絶対音圧校正法で用いる20 ccカプラと3 ccカプラ（平面波カプラともいう。）のカプラ内波動補正量およびマイクロホン膜インピーダンス補正量、さらに受音マイクロホン膜面上の音圧分布について数値計算を行っている。補正量の計算については、ECL MR103の振動膜定数と校正温度が、基準値からずれている場合の補正量のずれも計算し、補正量の精度を求めた。さらに、3 ccカプラについては、「無限行列による波動方程式の解法」を用いた解析で、1行1列だけが1の特殊な無限行列を考えると、標準コンデンサマイクロホンの相互校正法による

絶対音圧校正法の国際規格である IEC 327 に規定されている、補正量の近似値を求める式を導くことを示し、IEC の式による補正量の誤差を求めている。

第 4 章 実験によるカプラの補正量の検討

本章では、第 3 章で計算した補正量や受音マイクロホン膜面上の音圧分布の数値計算結果を実験的に検証している。20 cc カプラの媒質に空気と水素を用いて、伝送特性の差を求めた。この結果は、第 3 章で求めた数値計算結果と 0.05 dB 以内の精度、すなわち、実験誤差の範囲内で一致している。この結果は、前章に述べているように、マイクロホン膜インピーダンス補正量が、カプラの媒質が異なると異なる値となることを証明している。すなわち、これまで行われていた、カプラ内波動補正量の求め方の考え方が誤りであることを示している。

次に、20 cc カプラと 3 cc カプラを用いて、マイクロホンの音圧感度を校正し、それぞれのカプラの補正量を加えて、音圧感度の比較を行った。両者の差は、 ± 0.05 dB 以内であり、実験誤差の範囲内で一致していることがわかる。すなわち、「無限行列による波動方程式の解法」を用いたカプラ内波動補正量およびマイクロホン膜インピーダンス補正量は、実験精度の範囲内で一致し、実用上十分な精度を持つことがわかる。

最後に、20 cc カプラの受音膜面の位置にプローブマイクロホンを取付けた特殊なカプラを試作し、受音マイクロホン膜面上の音圧分布を測定した。これらの実験結果は、数値計算結果と実験誤差、すなわち 0.02 dB もの高い精度で一致し、「無限行列による波動方程式の解法」が、極めて精度の高い数値解析方法であることがわかる。

第 5 章 相互校正法による自由音場校正

本章では、デジタル技術を利用した、相互校正法による高精度自由音場校正法を開発している。まず、現状の標準コンデンサマイクロホンの自由音場校正における問題点を解析し、雑音や反射波などの不要な信号の除去法と多くの測定条件の変動による影響を避ける方法について考察し、デジタルフィルタの利用やコンピュータを用いた非線形最小二乗推定法の採用による、最適測定方法を示している。この測定方法を検証するために、高性能無響室と計測システムを設計・試作した。本章に述べる測定法および測定システムを用いることによって、測定時間の短縮による、不安定な各種要因からの影響の除去や最適な測定値の求め方など、これまでの校正方法に比べて、高精度化と各種誤差要因の分離が可能になり、0.1 dB よりよい精度の自由音場校正の可能なことを明らかにしている。

第 6 章 標準コンデンサマイクロホンの校正法に関する提案

本章では、カプラ校正法における補正量の求め方とその適用方法を提案をする。20 cc カプラと 3 cc カプラの推奨補正量を次表に示す。これは、必要な校正精度に最適な補正方法のあることを示している。また、自由音場補正量の基準値を求めるための測定方法として、第 5 章で述べた方法を用いると、標準コンデンサマイクロホンの自由音場校正における各種効果を分離して測定すること

I 型標準コンデンサマイクロホンのカプラ校正における補正量 (dB)

周波数 kHz	20ccカプラ		3ccカプラ
	空 気	水 素	
0.1	0.08		0.39
0.2	0.07		0.36
0.3	0.07		0.35
0.5	0.06		0.34
0.7	0.06		0.32
1	0.04		0.30
1.5	(0.01)	0.08	0.24
2		0.08	0.17
3		0.06	-0.03
4		0.04	-0.31
5		0.03	-0.67
6		0.00	-1.11
7		-0.02	-1.61
8		-0.03	-2.16
9		-0.04	-2.80
10		-0.04	-3.55

ができることを示している。

第7章 結 論

本章では、以上の各章で得られた事項のまとめを行っている。この研究で明らかになった標準コンデンサマイクロホンの音圧校正および自由音場校正の精度を明らかにし、高精度校正方法を提案している。一方、残された問題点として、本研究によって開発された、高精度校正方法によって、多数のマイクロホンの校正を行い、マイクロホンのパラメータや測定条件による校正値の変動を把握し、より高精度校正の確立を進めるべき点にある。特に、標準コンデンサマイクロホンの自由音場感度レベルと音圧感度レベルの差で定義される自由音場補正量は、標準コンデンサマイクロホンを基準器としてあるいは精密計測用マイクロホンとして、自由音場で利用する場合に、必要不可欠な量であり、この量の標準化のために、多くの自由音場校正を行う必要がある。

審 査 結 果 の 要 旨

物理量の一つである音圧の測定は、ほかの力学的、あるいは電氣的な量の測定と較べて高精度を取ることが極めて困難であり、音響標準の精度は他の諸標準の精度よりも数桁低いのが現状である。著者は、その向上を目的として研究を行い、標準コンデンサマイクロホンの音圧感度の精密校正に必要なカブラ校正法における補正量を明らかにし、さらに、自由音場感度の相互校正法による精密絶対校正法を開発した。本論文は、その成果をまとめたもので、全編7章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、無限行列による波動方程式の解法を用いて、カブラ校正法におけるカブラ内波動およびマイクロホン膜インピーダンスの厳密な解析法を導き、感度の補正量とマイクロホン膜上の音圧分布の計算法を示している。

第3章では、前章の結果に基づいて数値計算を行い、20 cc および 3 cc カブラの補正量と受音マイクロホン膜面上の音圧分布を求めている。ここで、国際規格 IEC 327 に規定されている補正量の近似値を理論的に導き出し、その誤差を明らかにしているのは高く評価すべき成果である。

第4章では、前章で計算した補正量と受音マイクロホンの膜面上の音圧分布を、実験によって検証している。実験結果は、数値計算の結果と 0.02 dB の高い精度で一致している。

第5章では、デジタル技術を利用した相互校正法による高精度自由音場校正法の開発について述べている。ここでは、実験条件を厳密に規定し、デジタルフィルタと非線形最小2乗法の採用により、0.1 dB の精度の自由音場校正を可能にしている。

第6章では、標準コンデンサマイクロホンの校正法に関する2提案を行っている。すなわち、まず、カブラ校正について、補正量の求め方とその適用方式を提案し、校正精度に応じて、それぞれ最適な補正法があることを示している。次に、自由音場補正量の標準値を求めるための測定法として、第5章の方法を用いることを提案し、それにより、自由音場校正における各種効果を分離して測定できることを示している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、標準コンデンサマイクロホンのカブラ校正ならびに自由音場校正に必要な音場解析法と実験技術を開発し音響標準の高精度化に有用な知見を与えたもので、音響工学ならびに情報工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。